

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

Monitoring and protection device for optical-fibre cables (fibre-optic cables)

Veröffentlichungsnr. (Sek.) DE4314031
Veröffentlichungsdatum : 1994-11-03
Erfinder : ONKELS ECKEHARD DIPL PHYS (DE); RUEHL FALK DR (DE)
Anmelder : FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE)
Veröffentlichungsnummer : ☐ DE4314031
Aktenzeichen:
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19934314031 19930429
Prioritätsaktenzeichen:
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19934314031 19930429
Klassifikationssymbol (IPC) : G02B6/22; G01M11/02; H04B10/08; G02B6/00
Klassifikationssymbol (EC) : G01M11/00B6, G02B6/22, G02B6/28B10, G02B6/42C
Korrespondierende Patentschriften

Bibliographische Daten

The subject-matter of the invention is a monitoring and protection device for optical-fibre cables which detects energy leakage from an optical-fibre cable or from an optical fibre as a result of an interference. Damage to the optical-fibre cable occurs by uncontrolled coupling-out (detection) of the laser beams at interference points of the optical fibres, for example due to the bending radius dropping slightly below the permissible value. In the device according to the invention, the optical-fibre cable is designed in such a manner that it has one or more optical fibres with in each case one or more fibre coatings (layers), in the case of which device at least one fibre coating is provided for transmitting radiation power (radiant power), and that the lost radiation leaking from the fibre coating or coatings transmitting the radiation power is coupled into a second fibre coating by means of elastic or inelastic diffusion (conversion) and is guided to a detector. The conversion of the lost radiation is in this case performed by a suitable preparation of the secondary coatings, for example by enriching it with diffusers, dyes or scintillators. In the simplest case the optical-fibre cable is surrounded by a protective sheath which is filled with a liquid or a gel-like dye or scintillator carrier. The device according to the invention has the advantage that an interference of the optical-fibre cable is recognised at an early stage, so that severe damage or total destruction of the optical waveguides by power reduction or switching off of ... Original abstract incomplete.

Daten aus der esp@cenet Datenbank - - I2

(5)



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 43 14 031 A 1

61 Int. Cl.⁵:
G 02 B 6/22
G 01 M 11/02
H 04 B 10/08
// G02B 6/00

21 Aktenzeichen: P 43 14 031.9
22 Anmeldetag: 29. 4. 93
43 Offenlegungstag: 3. 11. 94

DE 43 14 031 A 1

71 Anmelder:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, 80636 München, DE

72 Erfinder:

Onkels, Eckehard, Dipl.-Phys., 6141 Einhausen, DE;
Rühl, Falk, Dr., 5106 Roetgen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

64 Überwachungs- und Schutzvorrichtung von Lichtwellenleiter (LWL)-Kabeln

57 Gegenstand der Erfindung ist eine Überwachungs- und Schutzvorrichtung von Lichtwellenleiter (LWL)-Kabeln, die eine Energieleckage aus einem LWL-Kabel bzw. einer LWL-Faser infolge einer Störung registriert. Die Schädigung der LWL-Kabel entstehen durch unkontrollierte Auskopplung der Laserstrahlen an Störstellen der LWL-Fasern, z. B. aufgrund einer geringfügigen Unterschreitung des zulässigen Biegeradius.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist das LWL-Kabel derart gestaltet, daß es eine oder mehrere LWL-Fasern aufweist, mit jeweils einer oder mehrerer Faserschichten, bei der wenigstens eine Faserschicht zur Übertragung von Strahlungsleistung vorgesehen ist, und daß die aus der oder den Strahlungsleistung übertragenden Faserschichten austretende Verluststrahlung durch elastische oder inelastische Streuung (Konversion) in eine zweite Faserschicht einkoppelt und zu einem Detektor geleitet wird. Die Konversion der Verluststrahlung erfolgt dabei durch eine geeignete Präparation der Sekundärschichten, z. B. durch Anreicherung mit Streukörpern, Farbstoffen oder Szintillatoren. Im einfachsten Fall ist das LWL-Kabel von einem Schutzmantel umgeben, der mit einem flüssigen oder gelartigen Farb- oder Szintillator-Träger gefüllt ist.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung hat den Vorteil, daß eine Störung des LWL-Kabels in einem frühzeitigen Stadium erkannt wird, so daß eine schwere Schädigung oder Totalzerstörung des Lichtwellenleiters durch Leistungsreduktion oder Abschalten des ...

DE 43 14 031 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 09. 94 408 044/204

12/35

Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine Überwachungs- und Schutzeinrichtung von Lichtwellenleiter (LWL)-Kabeln, die eine Energieleckage aus einem LWL-Kabel bzw. einer LWL-Faser infolge einer Störung registriert.

Lichtwellenleiter werden vielseitig für industrielle Zwecke eingesetzt, unter anderen zur Übertragung von Hochleistungslaserenergie in der Materialbearbeitung. Die Verwendung von LWL erfordert im Interesse der Betriebssicherheit, insbesondere des Personenschutzes, Sicherheitsvorrichtungen, die im Störfall — d. h. beim Austritt von Laserenergie aus einem geschädigten LWL-Kabel — ansprechen und den Laser abschalten.

Die Schädigungen der LWL-Kabel entstehen durch unkontrollierte Auskopplung der Laserstrahlung an Störstellen der LWL-Faser. Ursache dafür sind, neben groben Störungen der Lichtleitung, wie z. B. LWL-Faserbruch, nur sehr geringfügige Unterschreitungen des zulässigen Minimums des Biegeradius, die infolge einer in diesem Biegeradiusbereich sehr steil ansteigenden lokalen Leistungsauskopplung bereits zu einer Zerstörung des LWL-Kabels führen können.

Die Ausbreitungsfähigkeit der LWL-Strahlungsmoden wird durch physikalische Gesetzmäßigkeiten von bestimmten Parametern eingegrenzt. Die wichtigsten hierbei sind:

1. Numerische Apertur (NA) der LWL-Faser

Sie bestimmt den maximal erreichbaren Winkel der Einkoppelung von Licht in die polierten Endflächen der LWL-Faser; Strahlung, die oberhalb eines durch die NA festgelegten kritischen Winkels auftritt, ist in der LWL-Faser nicht ausbreitungsfähig.

Die NA ist eine Größe, die bei gegebener Wellenlänge der Strahlung ausschließlich von den verwendeten LWL-Fasermaterialien bestimmt wird. Z. B. werden im Falle einer sog. Stufenindexfaser zwei im Brechungsindex n sich unterscheidende Materialien für LWL-Faserkern und LWL-Fasermantel verwendet. Der Wert für NA ist dann unabhängig von den Abmessungen der LWL-Faser, durch die Brechungsindizes von Kern und Mantel bestimmt.

2. Krümmungsradius R_k der LWL-Faser

Unterhalb eines bestimmten Krümmungsradius $R_{kritisch}$ ist ein Teil der LWL-Strahlungsmoden (sog. höhere Moden, mit zunehmender Krümmung auch niedere Moden) nicht mehr ausbreitungsfähig und verläßt die Faser durch Abstrahlung nach außen.

3. LWL-Faserkerndurchmesser

Kleinere LWL-Faserkerndurchmesser erlauben bei gleichen Strahlungsverlusten kleinere Krümmungsradien.

Innerhalb der LWL-Faser resultiert eine gedämpfte Welle, deren Dämpfungskonstante im Falle einer Stufenindexfaser durch

$$\alpha_{si} \approx \frac{4\pi n}{\lambda} \theta_c^2 \cdot \left(1 - \frac{\theta^2}{\theta_c^2}\right) \cdot \exp \left\{ -\frac{4\pi n}{3} \frac{R}{\lambda} \theta_c^3 \cdot \left[1 - \frac{\theta^2}{\theta_c^2} - \frac{D}{R \cdot \theta_c^2}\right]^{3/2} \right\} \quad (1)$$

mit

α_{si} = Abschwächungskoeffizient für transmittierte Strahlung

n = Brechungsindex des LWL-Faserkerns

λ = Vakuumwellenlänge des Laserlichts

θ_c = Kritischer Winkel = interner Totalreflektionswinkel: $\theta_c = NA/n$

θ = dem Strahlungsmoden zugeordneter Ausbreitungswinkel

R = Krümmungsradius der LWL-Faser

D = Kerndurchmesser der LWL-Faser

gegeben ist (D. Gloge: "Bending Loss in Multimode Fibers with Graded and Ungraded Core Index", Appl. Opt. 11, 2506 (1972)).

Die funktionale Abhängigkeit der Strahlungsverluste zeigt einen sprunghaften Anstieg, wenn θ in die Nähe von θ_c rückt.

Stand der Technik

Die bisher zur Überwachung der Leistungsübertragung in LWL-Kabeln eingesetzten, bekannten Systeme lassen sich in zwei Klassen (I und II) unterteilen:

I. Erfassung eines LWL-Kabelbruchs, LWL-Kabelabrisses oder einer LWL-Faserzerstörung ("LWL-Kabel ist zerstört"). Hierzu sind aus dem Stand der Technik folgende Möglichkeiten bekannt:

a) In das LWL-Kabel wird neben der darin eingebetteten leistungsführenden LWL-Faser ein elektrischer

Leiter (ein oder mehrere Drähte) zugefügt. Eine ständige Überwachung, der elektrischen Leitfähigkeit dient zum Erkennen eines Kabelbruchs, -abrisses oder anderer schwerer Schädigungen innerhalb des LWL-Kabels (z. B. Verbrennungen durch LWL-Faserbruch im Kabelinneren).

b) Gemäß der Druckschrift DE-OS 40 10 789 wird dem LWL-Kabel neben der leistungsführenden LWL-Faser eine zweite LWL-Faser (Sekundär-LWL-Faser) zugefügt. Die Überwachung erfolgt durch Erfassung der optischen Leitfähigkeit der Sekundärfaser, indem eine Lichtquelle und ein Lichtdetektor an den Sekundär-LWL-Faserenden des LWL-Kabels angebracht werden. Eine Unterbrechung des LWL-Kabels durch die unter a) genannten Störfälle wird daher in gleicher Weise erkannt.

Ein Nachteil dieser Lösungen ist, daß die Beschädigung der leistungsführenden LWL-Faser zu spät, d. h. in einem irreversiblen Zustand erkannt wird, so daß nach Schadenerkennung bestenfalls noch der Personen- und Anlagenschutz gewährleistet werden kann.

Ein weiterer, schwerwiegender Nachteil besteht darin, daß ein sicherheitsbeeinträchtigender LWL-Faserschaden unter ungünstigen Bedingungen erst sehr spät oder überhaupt nicht erkannt wird. So ist infolge der relativ unempfindlichen Meßprinzipien beider Lösungen nicht auszuschließen, daß Strahlung unkontrolliert aus dem LWL-Kabelmantel austreten kann, solange der Überwachungs- und Schutzmechanismus noch keinen Störfall erkennt.

Wird die leistungsführende LWL-Faser innerhalb des LWL-Kabels zerstört (Bruch oder Riß durch zu starke oder zu häufige Knickbeanspruchung, Alterung durch Materialermüdung), tritt Strahlung hoher Leistungsdichte aus der Störstelle aus, was bei Versagen der Sicherheitsvorrichtung zu einer Zerstörung des LWL-Kabelmantels mit nachfolgendem Strahlungsaustritt in die Umgebung führt. Ein derartiges Versagen der Sicherheitsvorrichtung kann eintreten, wenn die beigefügten Drähte (Fall a)) oder die Sekundär-LWL-Fasern (Fall b)) von der austretenden Strahlung zu langsam oder überhaupt nicht durchtrennt werden.

Bei der unter 1b) vorgestellten Lösung besteht zudem die Gefahr, daß aus der Defektstelle austretendes Laserlicht in die ebenfalls geschädigte Sekundär-LWL-Faser eingekoppelt wird, und so dem zur Überwachung dienenden Lichtdetektor ein intaktes LWL-Kabel "vorgetäuscht" werden kann.

II. Erfassung der Rückstreustrahlung (z. B. an optischen Komponenten wie Linsen und Spiegeln) an einer bestimmten Stelle des optischen Übertragungsweges.

Hierbei wird, wie in der Patentschrift DE 33 40 427 offenbart, das mit geeigneten Detektoren erfaßte Streulicht in einer Auswerteeinrichtung mit einem Referenzsignal, das ebenfalls zur Modulation der Laserlichtquelle dient, verglichen (Korrelation). Ein auftretender Störfall reduziert die Korrelation der beiden Signale, wodurch ein Schaden erkannt werden kann. Die Methode erlaubt, je nach Positionierung des Streulichtdetektors, eine Überwachung des gesamten optischen Übertragungsweges oder auch eines Teiles desselben.

Obwohl dieses Verfahren bereits empfindlicher und schneller auf Störungen reagieren kann, wird ein Fehler der LWL-Übertragung sehr wahrscheinlich nicht rechtzeitig vor einem Totalausfall des LWL-Kabels erkannt. Dies trifft, wie die folgende Überlegung zeigt, insbesondere für hohe Übertragungsleistungen zu:

Es kann davon ausgegangen werden, daß die lokale Auskopplung weniger Watt optischer Leistung, wie sie an schwachen LWL-Störstellen, z. B. durch Unterschreitung des zulässigen Minimums des Biegeradius, auftreten kann, in kurzer Zeit zu einer Zerstörung des LWL-Kabelaufbaus, insbesondere der optisch nicht transparenten Materialien des Kabelmantels, führt. Für Übertragungsleistungen im kW-Bereich bewegen sich also die relativen Verlustanteile der Gesamtleistung, die bereits zerstörend wirken, im Bereich unter 1%. In den Anfangsstadien eines Störfalls sind daher nur geringe relative Leistungsunterschiede am Austrittsende des LWL-Kabels feststellbar.

Es ist deshalb sehr unwahrscheinlich, daß ein Störfall mit der angegebenen Lösung überhaupt rechtzeitig vor dem Totalausfall des LWL-Kabels erkannt wird, da im Anfangsstadium der Zerstörung die zur Auswertung herangezogene Korrelation innerhalb der üblichen Meß- und Auswertefehler erhalten bleibt.

Die bei diesem Verfahren durchzuführende Modulation der Laserleistung ist unter Umständen nicht in allen Fällen erwünscht oder möglich, da insbesondere bei höherem Modulationsgrad der Laserleistung schlechtere Ergebnisse bei der Lasermaterialbearbeitung resultieren können.

Darstellung der Erfindung

Ausgehend von dem genannten Stand der Technik, liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Überwachungs- und Schutzeinrichtung anzugeben, die eine schnelle und zuverlässige Erkennung eines Störfalls gewährleistet. Insbesondere soll im Störfall ein weitgehender Zerstörungsschutz für die LWL-Faser bzw. das LWL-Kabel garantiert sein.

Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Bevorzugte Weiterentwicklungen sind in den Unteransprüchen 2 bis 23 aufgeführt.

Grundgedanke der vorliegenden Erfindung ist es, gegenüber den bekannten Verfahren, die über die gesamte Länge der LWL-Faser austretende (Verlust-)Strahlung während des Betriebs mit einer Empfindlichkeit zu erfassen, die ausreichend ist, eine Störung der LWL-Faser in einem frühzeitigen Stadium zu erkennen, so daß eine schwere Schädigung oder Totalzerstörung der LWL-Faser und des LWL-Kabels durch Leistungsreduktion oder Abschaltung des Lasers verhindert werden kann. Ohne Einschränkung des allgemeinen Erfindungsgehalts läßt sich dieses Verfahren auch auf Teilabschnitte von LWL-Kabeln übertragen, z. B. in besonders knickgefährdeten Bereichen.

Die erfindungsgemäße Einrichtung basiert auf der Idee, daß die aus einer leistungsübertragenden LWL-Faserschicht (Primärschicht) austretende Verluststrahlung zumindest teilweise in eine oder mehrere Sekundärschichten einkoppelt und von Detektoren erfaßt ist.

Das detektierte Signal wird einer Laser-Sicherheitsabschaltung oder -Leistungsregelung zugeführt, die das LWL-Kabel durch Abschalten des Lasers oder Reduzierung der Leistung vor Beschädigung oder Zerstörung durch zu hohe Strahlungsverluste schützt.

Neben der dadurch erhöhten Lebenserwartung des LWL-Kabels ergibt sich gegenüber den bekannten Verfahren aufgrund der frühzeitigen Erkennung von Störungen oder Schäden eine weitaus sicherere Vermeidung von schweren Störfällen, in denen Laserstrahlung aus dem LWL-Kabel unkontrolliert und daher personengefährdend austritt.

Aufgrund der funktionalen Abhängigkeit der Strahlungsverluste — wie beispielsweise durch Gleichung 1 beschrieben — kann die Erfindung insbesondere zur Überwachung des Krümmungsradius R_k an jeder beliebigen Stelle des LWL-Kabels bzw. der LWL-Faser herangezogen werden.

Die Verluststrahlung der leistungsführenden LWL-Faser kann aufgrund physikalisch bedingter Ausbreitungsbedingungen nicht auf direktem Wege ausbreitungsfähige LWL-Moden im Sekundär-LWL bzw. den Sekundärschichten erzeugen.

Daher wird durch elastische und/oder inelastische Streuung eine Konversion der in die Sekundärschicht/en (z. B. Sekundär-LWL-Faserkern) eingestrahlteten Verluststrahlung vorgenommen, indem diese Faserschicht geeignet präpariert wird. An den Enden der sich über die gesamte Länge des LWL-Kabels erstreckenden Sekundärschichten wird die gesammelte Konversionsstrahlung auf geeignete Detektoren transferiert. Somit besteht die Möglichkeit, aus der leistungsführenden LWL-Faser austretende Verluststrahlung zu erkennen und entsprechende Maßnahmen zum Schutz von LWL-Faser bzw. LWL-Kabel einzuleiten.

Für die Realisation des Konverters kommen vorzugsweise folgende Maßnahmen in Betracht:

1. Anreicherung der LWL-Faserschichten, die Konversionsstrahlung übertragen, insbesondere des Sekundär-LWL-Kerns, mit geeigneten Streukörpern (Pigmente etc.), deren elastische und/oder inelastische Streustrahlung zum Teil an ausbreitungsfähige LWL-Moden koppelt. Es besteht hierbei die Möglichkeit, den Austrittsort der Verluststrahlung zu bestimmen, indem die an den Sekundär-LWL-Faserenden austretende Strahlungsleistung in Relation zueinander gesetzt wird. Die an einem Ende austretende Leistung P wird von der Lichtstreuung der Streukörper mitbestimmt, die bei homogener Dichteverteilung zu einer charakteristischen Abschwächung (Absorptionskoeffizient α) des transmittierten Lichts gemäß dem Beer'schen Gesetz:

$$P = P_0 \cdot \exp(-\alpha l) \quad (2)$$

mit

P_0 = Leistung am Einkoppelort

P = Leistung nach Transmission über Länge l

α = effektiver Absorptionskoeffizient (Streukoeffizient)

l = Weglänge der Transmission

führen.

Für eine Faser der Länge L erhält man für das Verhältnis der an den Enden a und b der Sekundär-LWL-Faser austretenden Strahlungsleistungen P_a und P_b :

$$P_a/P_b = \exp(\alpha(L - 2/a)) \Leftrightarrow l_a = 1/2 \cdot (L - 1/\alpha \cdot \ln(P_a/P_b)) \quad (3)$$

wobei l_a die Entfernung der Meßstelle a zum Einkoppelort darstellt.

2. Anreicherung der Sekundärschichten, die Konversionsstrahlung überführen, mit einem geeigneten (fluoreszierenden) Farbstoff oder einem Szintillator. Die Fluoreszenzstrahlung des Farbstoffs bzw. das Szintillationslicht des Szintillators ist isotrop, ein Teil derselben fällt daher in den Raumwinkelbereich, der innerhalb der Sekundär-LWL-Faser ausbreitungsfähig ist. Auch hier besteht die Möglichkeit, den Ort der Störung (Krümmungsüberanspruchung) oder des Schadens zu lokalisieren, wenn die Sekundärschichten die unter 1. genannten charakteristischen Absorptionseigenschaften aufweist. Dies ergibt sich durch die in Farbstofflösungen im allgemeinen vorhandene Selbstabsorption des Fluoreszenz- oder Szintillations-Lichts (geringe Verunreinigungen des Farbstoffs oder Szintillators). Zur Verbesserung der Lokalisierungsgenauigkeit nach Gleichung (3) kann der Abschwächungskoeffizient α bzw. die Absorption gegebenenfalls durch die Beimengung zusätzlicher Absorber oder Streukörper erhöht werden.

3. Alternativ kann der Schutzmantel des LWL-Kabels mit einem flüssigen oder gelartigen Farbstoff- oder Szintillator-Träger gefüllt werden, wobei die Leitung des Fluoreszenz- oder Szintillator-Lichts einerseits durch Totalreflektion an der Faseraußenseite der Leistungs-LWL, andererseits durch Einfall unter dem Glanzwinkel der Innenwand des Kabelmantels erfolgt (bei einigen LWL-Kabeln wird bereits ein unter Umständen derart präparierbares Silikon-Gel zur Reduzierung der Reibung zwischen äußerer LWL-Schicht und Innenwand des LWL-Kabelmantels eingesetzt). Diese Gebiete mit flüssigen oder gelartigen Substanzen stellen quasi die Sekundärschichten dar. Die auf diese Weise zu erwartenden hohen Ausbreitungsverluste des konvertierten Lichts, sind nicht störend, da seitens der Detektoren hohen Empfindlichkeiten zur Verfügung stehen. Auch hier besteht infolge der charakteristischen Absorptionseigenschaften die Möglichkeit der Lokalisation des Einkoppelortes, wie bereits unter 1. und 2. dargelegt.

Die Auswahl der Farbstoffe, Streukörper oder Szintillatoren sowie der transparenten Trägermaterialien richtet sich nach der gegebenen Wellenlänge des Laserlichts (u. a. Anregung der Fluoreszenz- oder Szintilla-

tions-Strahlung), sowie der Lösbarkeit der Substanzen in den transparenten Medien, die für Materialien des Sekundär-LWLs geeignet sind. Da im Sekundär-LWL vernachlässigbare optische Leistungsdichten geführt werden sollen, ist die Verwendung von Polymer- oder Silikon-Materialien trotz der gegenüber Glasmaterialien höheren Absorptionswerte möglich.

Die erfindungsgemäße Einrichtung kann für alle Arten von Lichtwellenleitern angewandt werden, unter anderem für LWL-Faser bestehend aus einer Vielzahl von dielektrischen Schichten, insbesondere mit radial kontinuierlich variierendem Brechungsindex.

Gemäß Anspruch 10 ist es zweckmäßig, wenn die Schichten, die an die Faserschichten, die Primär- und/oder Konversionsstrahlung führen, direkt anschließen aus einem Material mit niedrigerem Brechungsindex bestehen.

Laut Anspruch 4 besteht eine bevorzugte Ausführungsform darin, die Primär- und Sekundärschichten in verschiedenen LWL-Fasern, d. h. Primär- bzw. Sekundär-LWL-Fasern, anzuordnen.

Vorzugsweise beinhaltet diese Ausführungsform LWL-Fasern mit zylindersymmetrischen Schichtfolgen, wobei die Übertragung der Primärstrahlung und Konversionsstrahlung im Kern der Primär- bzw. Sekundär-LWL-Faser erfolgt (Anspruch 5).

Gemäß Anspruch 6 ist eine alternative Ausführungsform derart aufgebaut, daß eine LWL-Faser eine zylindersymmetrische Schichtfolge beinhaltet, bei der die Primär- und Sekundärschichten als Schichten derselben LWL-Faser ausgebildet sind. Vorzugsweise sind hierbei die Primär- und Sekundärschichten konzentrisch um eine gemeinsame Achse angeordnet (Anspruch 7). Die einzelnen Primär- und/oder Sekundärschichten können dabei voneinander durch Zwischenschichten beabstandet sein (Anspruch 8). Idealerweise sind bei dieser Ausführungsform die Primärschicht als Kern und die Sekundär-Schicht als eine Schichtfolge des Mantels der LWL-Faser ausgebildet (Anspruch 9).

Eine weitere Ausführungsform ist durch die Anordnung wenigstens einer weiteren LWL-Faser und/oder LWL-Faserschicht im LWL, durch die ein optisches Kontrollsignal übertragen ist, realisierbar (Anspruch 20). Dadurch ist gewährleistet, daß ein abrupter LWL-Faser- bzw. -Kabel-Riß, auch unter extremen Bedingungen, erkannt wird.

Es ist zweckmäßig, für diese Übertragung die bereits vorhandene(n) Sekundär-LWL-Faser(n) und/oder -Faserschichten einzusetzen (Anspruch 19). Ein Störfall wird dann durch eine Über- oder Unterschreitung der Grenzwerte für die Detektorsignale erkannt.

Eine Alternative zu den Ausführungsformen nach Anspruch 19, 20 ist derart gestaltet, daß ein oder mehrere elektrische Leiter im LWL angeordnet sind, durch die ein elektrisches Kontrollsignal geleitet ist (Anspruch 21).

Ausführungsbeispiele

Nachfolgend werden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen bevorzugte Ausführungsbeispiele erläutert: Es zeigen:

Fig. 1a Längsschnitt durch LWL-Stecker und LWL-Kabel eines ersten Ausführungsbeispiels;

Fig. 1b Querschnitt durch die Ebene A-B des ersten Ausführungsbeispiels,

Fig. 2 Verfahren bzw. Vorrichtung zur Auswertung und Rückführung des detektierten Signals,

Fig. 3 Querschnitt durch die Faserstruktur gemäß eines zweiten Ausführungsbeispiels,

Fig. 4 Längsschnitt durch die Faserstruktur des zweiten Ausführungsbeispiels.

Fig. 1a und b zeigen ein erstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Einrichtung.

In einem LWL-Kabel (Armierter Kabelhülle o. ä.) (4) ist der leistungsführenden LWL-Faser (1) eine zweite LWL-Faser (2) mit fluoreszierendem, streuendem, oder szintillierendem Kern (7) beigelegt. Beide LWL-Fasern haben eine transparente Außenumhüllung (1a, 2a) (sog. "Buffer"). Die aus der Primär-LWL-Faser (1) austretende Verluststrahlung (6) tritt in die Sekundär-LWL-Faser (2) ein und wird im Faserkern (7) in ausbreitungsfähige LWL-Moden konvertiert. An einem oder beiden Enden der LWL-Faser (2), das/die bis in die Endstecker (3) des LWL-Kabels (4) geführt ist/sind, ist ein Fotodetektor (5) (Fotodioden, Thermosensoren etc.) angebracht. Die Auswahl des Detektors richtet sich unter anderem nach der Wellenlänge der Konverterstrahlung sowie der geforderten Nachweisempfindlichkeit und Ansprechgeschwindigkeit.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung erlaubt die Realisierung einer einfachen Überwachungs- und Schutzvorrichtung, wie in Fig. 2 schematisch dargestellt.

Die Signale der an den LWL-Kabelenden angebrachten Detektoren (5a und 5 b), die indirekt über Fluoreszenz, Streuung oder Szintillation die Verluststrahlung (6) nachweisen, werden verstärkt und einer Auswerteeinheit (20) zugeführt, die diese mit Sollwerten vergleicht. Beim Über- oder Unterschreiten von Grenzwerten wird der Betrieb des LWL eingestellt, d. h. der Laser abgeschaltet, oder die Laserleistung auf unkritische Werte reduziert.

Ein zweites bevorzugtes Ausführungsbeispiel besteht darin, statt einer beigelegten LWL-Faser mit Fluoreszenz-, Streu- oder Szintillations-Kern, eine einzige, spezielle LWL-Faser für beide Zwecke, d. h. Leistungsübertragung und Überwachung derselben, zu verwenden. Hierfür ist, wie in Fig. 3 dargestellt, die Aufbaustruktur der leistungsführenden LWL-Faser von weiteren Schichten umhüllt, die eine zweite LWL-Faser (Sekundärschicht) darstellen. So kann z. B. die aus dem Kern (9) in den Mantel (10) der leistungsführenden LWL-Faser eingekoppelte Strahlung (11) von einer Außenschicht (12) mit Brechungsindex n_{12} weitergeführt werden, wenn die Brechungsindizes n_{10} , n_{13} der daran anschließenden Schichten (10 und 13) entsprechend angepaßt sind:

$$n_{13} < n_{12} > n_{10}.$$

Der Vorteil dieser Lösung liegt in der genauen Skalierbarkeit des Meßsignals an den Enden der LWL-Hüllfaser in Bezug auf die Strahlungsverluste der Kernfaser (9), da die kopplungsbestimmende Geometrie der beiden

LWL-Fasersysteme scharf definiert werden kann. Die Gesamtstruktur ist von einem Schutzmantel (Buffer) (14) überzogen. Die Extraktion der Fluoreszenz-, Streu- oder Szintillations-Strahlung aus dem LWL-Hüllkern erfolgt durch einen sog. "Modestripper" (frei übersetzt etwa "LWL-Modenabstreifer"), der an einem oder beiden Enden der LWL-Faser angeordnet ist.

5 Die Funktionsweise des Modestrippers wird anhand Fig. 4, die einen Längsschnitt durch die Anordnung im Bereich des Faserendes zeigt, veranschaulicht.

Nach Entfernung des Buffers (14) wird die äußere LWL-Faserschicht (13) im Bereich der LWL-Kabelstecker (18) abgeätzt und durch ein aufgeklebtes Glasrohr (15) ersetzt. Dabei ist zu beachten, daß der Brechungsindex von Kleber (16) n_k und Glasrohr n_g größer ist, als derjenige der LWL-Faserschicht (12). Auf diese Weise wird 10 erreicht, daß die in die LWL-Außenfaser eingekoppelte Strahlung in das Glasrohr (15) gelangt, an dem ein oder mehrere unmittelbar angekoppelte Fotodetektoren (19) diese nachweisen. Genauere Ausführungen hierzu sind in einer parallel eingereichten Patentanmeldung ("Vorrichtung zur Ein- und/oder Auskopplung von Laserstrahlung in/aus Lichtwellenleiter, insbesondere zur Justage und Funktionsüberwachung"; Akt.-Nr. ILT 92/30270) zu finden.

15 Durch eine Detektion der Fluoreszenz-, Streu- oder Szintillations-Strahlung aus dem LWL-Hüllfaserkern mittels des/der Fotodetektor(en) (19) ist eine Überwachungs- und Kontrollvorrichtung analog zum ersten Ausführungsbeispiel möglich (vergleiche Fig. 2).

Patentansprüche

- 20 1. Überwachungs- und Schutzeinrichtung für Lichtwellenleiter (LWL-) Kabel mit einer oder mehreren LWL-Fasern, wobei jede LWL-Faser eine oder mehrere Faserschichten aufweist, und bei der wenigstens eine Faserschicht zur Übertragung von Strahlungsleistung vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, daß die aus der oder den die Strahlungsleistung übertragenden Faserschichten (Primärschichten) austretende 25 Verluststrahlung durch elastische oder inelastische Streuung (Konversion) wenigstens teilweise in mindestens eine zweite Faserschicht (Sekundärschicht) einkoppelt und daß wenigstens ein Detektor zur Erfassung der konvertierten Strahlung vorgesehen ist.
2. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Sekundärschicht(en) über die ganze Länge des LWL-Kabels erstreckt/en.
- 30 3. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach dem Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungskonversion im Inneren der/den Sekundärschicht(en) erfolgt.
4. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Primär- und Sekundärschichten in verschiedenen LWL-Fasern angeordnet sind.
5. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die LWL-Fasern 35 zylindersymmetrische Schichtfolgen aufweisen, und daß die Übertragung der Primärstrahlung im Kern der Primär-LWL-Faser und die Übertragung der Konversionsstrahlung im Kern der Sekundär-LWL-Faser erfolgt.
6. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine LWL-Faser eine zylindersymmetrische Schichtfolge aufweist, bei der 40 die Primär- und Sekundärschichten als Schichten derselben LWL-Faser ausgebildet sind.
7. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Primär- und Sekundärschichten konzentrisch um eine gemeinsame Achse angeordnet sind.
8. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Primär- und/oder Sekundärschichten voneinander durch Zwischenschichten beabstandet sind.
- 45 9. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Primärschicht als Kern und die Sekundärschicht als Schichtfolge des Mantels der LWL-Faser ausgebildet ist.
10. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichten, die an die Schichten, die Primär- und/oder Konversionsstrahlung führen, direkt anschließen aus einem Material mit niedrigerem Brechungsindex bestehen.
- 50 11. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Konversion der Verluststrahlung durch eine geeignete Präparation der Sekundärschichten erfolgt.
12. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Konversion mittels Anreicherung mit geeigneten Streukörpern (Pigmenten) und/ 55 oder Farbstoffen, z. B. fluoreszierenden Substanzen, und/oder Szintillatoren erfolgt.
13. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die angereicherten Farbstoffe und/oder Streukörper und/oder Szintillatoren in Abhängigkeit der Wellenlänge der Konversionsstrahlung in der/den Sekundärschicht(en) ausgewählt sind.
- 60 14. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die angereicherten Farbstoffe und/oder Streukörper und/oder Szintillatoren in Abhängigkeit der Lösbarkeit der Substanzen im Medium der Sekundärschicht(en) ausgewählt sind.
15. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Sekundärschicht(en) aus Polymer- und/oder Silikon-Materialien besteht.
- 65 16. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das LWL-Kabel von einem Schutzmantel umgeben ist, der mit einem flüssigen und/oder gelartigen Farb- und/oder Szintillator-Träger gefüllt ist, daß die Strahlungsleitung des Fluoreszenz- bzw. Szintillator-Lichts einerseits durch Totalreflexion an der Faseraußenseite, andererseits durch Einfall

unter dem Glanzwinkel der Innenwand des Kabelmantels erfolgt.

17. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der/die Strahlungsdetektor(en) an einem oder beiden Ende/Enden der Sekundärschicht(en) angeordnet ist/sind.

18. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektion der in der Mantelzone sich ausbreitenden Konversionsstrahlung mit wenigstens einem Modestripper, an dem ein oder mehrere Strahlungsdetektoren angekoppelt sind, vorgenommen ist.

19. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 18, insbesondere zur Detektion eines abrupten Kabelrisses, dadurch gekennzeichnet, daß durch mindestens eine Sekundärschicht ein zusätzliches optisches Kontrollsignal geführt ist.

20. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 19, insbesondere zur Detektion eines abrupten Kabelabrisses, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine weitere LWL-Faser und/oder LWL-Faserschicht im LWL angeordnet ist, durch die ein optisches Kontrollsignal übertragen ist.

21. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 20, insbesondere zur Detektion eines abrupten Kabelrisses, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein elektrischer Leiter im LWL angeordnet ist, durch den ein elektrisches Kontrollsignal geleitet ist.

22. Überwachungs- und Schutzeinrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 21, insbesondere zur Überwachung des Krümmungsradius, dadurch gekennzeichnet, daß die Signale des/der Strahlungsdetektor(en) verstärkt und an eine Auswerteeinheit weitergeleitet sind, daß die Auswerteeinheit die Signale mit einem Sollwert vergleicht und beim Über- oder Unterschreiten von Grenzwerten den Laser abschaltet oder die Laserleistung reduziert.

23. Verfahren unter Verwendung der Vorrichtung nach Anspruch 22, zur Bestimmung des Austrittsorts der Verluststrahlung, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis der an den Enden der Sekundär-LWL-Faser austretenden Konversionsstrahlung P_a/P_b ausgewertet wird und über die Beziehung:

$$P_a/P_b = \exp(\alpha(L - 2/a)),$$

mit

$P_{a,b}$ = Strahlungsleistung an der Meßstelle (Faserende) a, b

α = effektiver Absorptionskoeffizient

L = Länge der Faser,

der Austrittsort l_a (Entfernung bezüglich der Meßstelle a) bestimmt wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

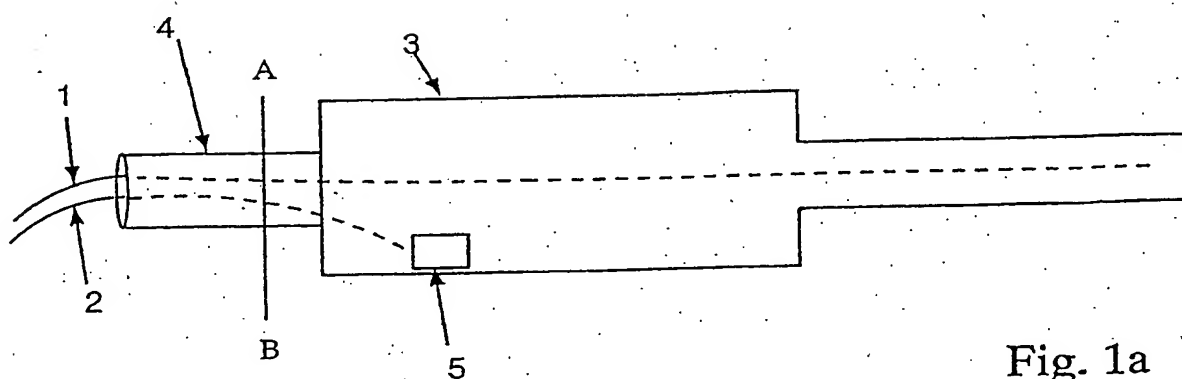


Fig. 1a

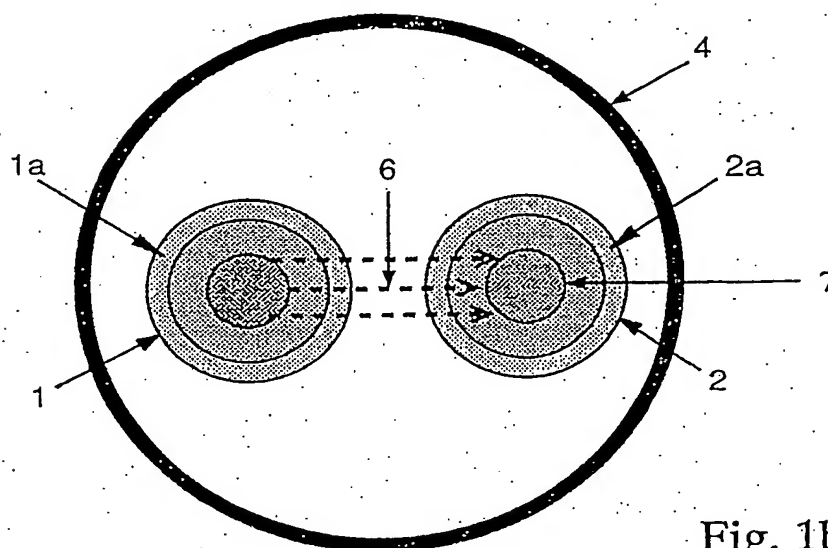


Fig. 1b

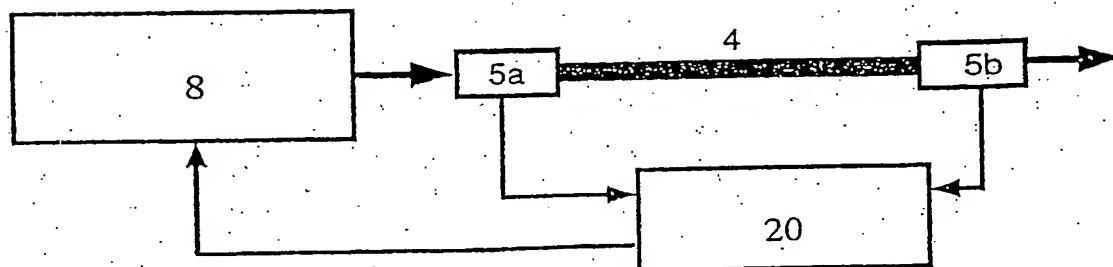


Fig. 2

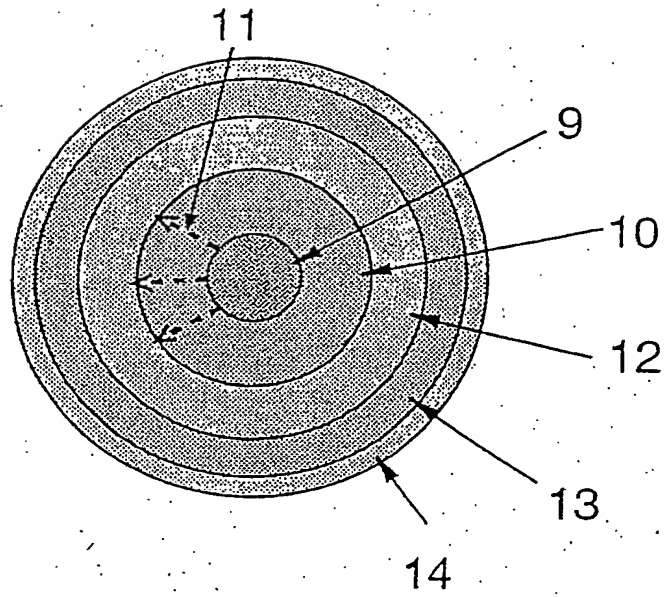


Fig. 3

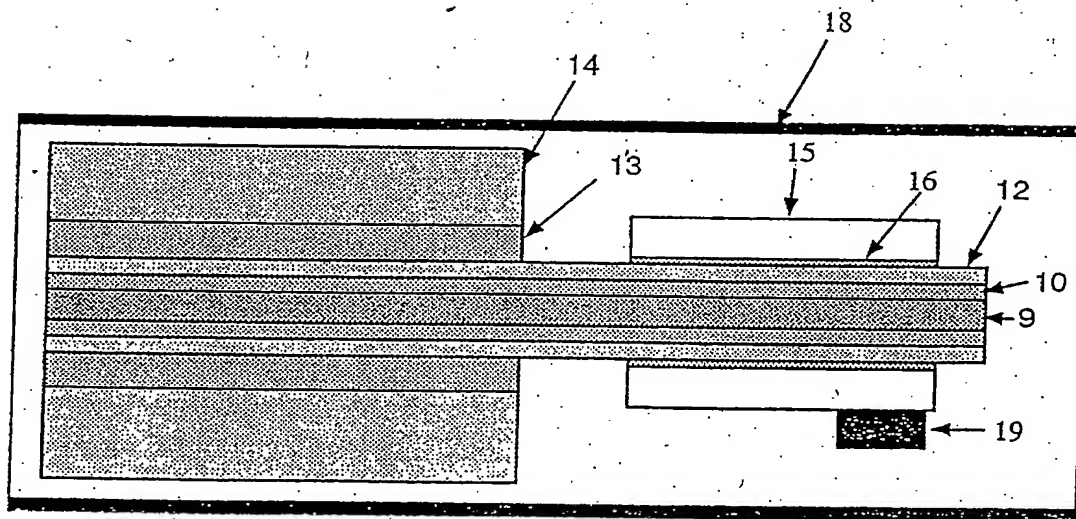


Fig. 4